



TITLE:

ウィスコンシン大学の200MeVストレージ・リング見学記(SOR分光学とStorage Ringの研究会,基研研究会報告)

AUTHOR(S):

佐川, 敬

CITATION:

佐川, 敬. ウィスコンシン大学の200MeVストレージ・リング見学記 (SOR分光学とStorage Ringの研究会,基研研究会報告). 物性研究 1968, 10(2): B80-B91

ISSUE DATE:

1968-05-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/86559>

RIGHT:

[17] D.L. Judge and G.L. Weissler : Technical Rep. No.
Usc - Vac UV - 105, (1965), Univ of Southern Calif.

[18] 私 信

ウィスコンシン大学の 200 MeV ストレージ・リング見学記

佐 川 敬 (東北大・理・物理)

§ 1. はじめに

シンクロトロン軌道放射 (SOR) が軟X線から電波領域に及ぶ多目的光源として、物性物理を始め多くの研究分野に占める重要性は日を追って高まりつつある。昨年11月私はたまたま訪米の機会を得、各地の大学・研究所を歴訪する事が出来たが、中でもMURA (Midwestern Universities Research Association) のストレージ・リング見学は、この意味で欠かす事の出来ないものの1つであった。私がこのリング建設計画を知ったのは1) 1964年の初頃であり、更にそれがSOR光源として重要な役割りを果す事になる事を知ったのはアメリカ物小委の白書²⁾を見る事の出来た1965年の春であった。それが私の訪ねた11月には、もう明日にでも運転を始める迄に出来上がり、それと併行して附帯する研究装置も、後述の各グループによって着々と準備されてるのを見聞して、そのスピードぶりにアメリカの底力を今更ながら感ずると共に、日本で我々のグループが早くからその緊急重要性を指適して来たにもかかわらず、いまだに体制にすらない事実とを深刻に対比せずにはおられなかった。

現在MURAは解体し、リングそのものはウィスコンシン大学の Physical Science Laboratory に所属していた。解体のいきさつその他は筆者にはおしはかるすべもないが、リングの共同利用は支障なく行われる模様で、現在迄提出されている研究計画は、月刊誌「物性」に投稿された藤田秀さんの文³⁾に詳しい。不必要な重複をさけて、ここではその標題だけを掲げよう。

基研研究会報告

(1) イリノイ大学 (ブラウン, 藤田) — 真空紫外に於ける固体の光学的性質 ($50 \sim 1,000 \text{ \AA}$), (2) シカゴ大学 (フリッチェ, ゲルハルト) — 金属絶縁物の交流モジュレーション法によるピエゾ反射 ($500 \sim 2,000 \text{ \AA}$) (3) アイオワ州立大学 (リンチ) — 反射測定法による固体の光学常数決定 (500 \AA 以上), (4) アルゴンヌ国立研究所 (チュブカ, ベルコウィツ) — 稀ガスの自動的電離吸収 (500 \AA 以上, 特に $900 \sim 1,100 \text{ \AA}$ に重点), (5) ウィスコンシン大学 (ワイマン他) — 酸素原子の電離状態の実験, (6) ウィスコンシン大学 (コード他) — ロケット搭載用太陽望遠鏡の較正 ($1,500 \text{ \AA}$ 以下), (7) ウィスコンシン大学 (デクスター, モラン) — 固体の光学的性質とルミネッセンス。

となっている。これ等の標題を見ただけで、アメリカの意気ごみの程が充分うかがわれる。

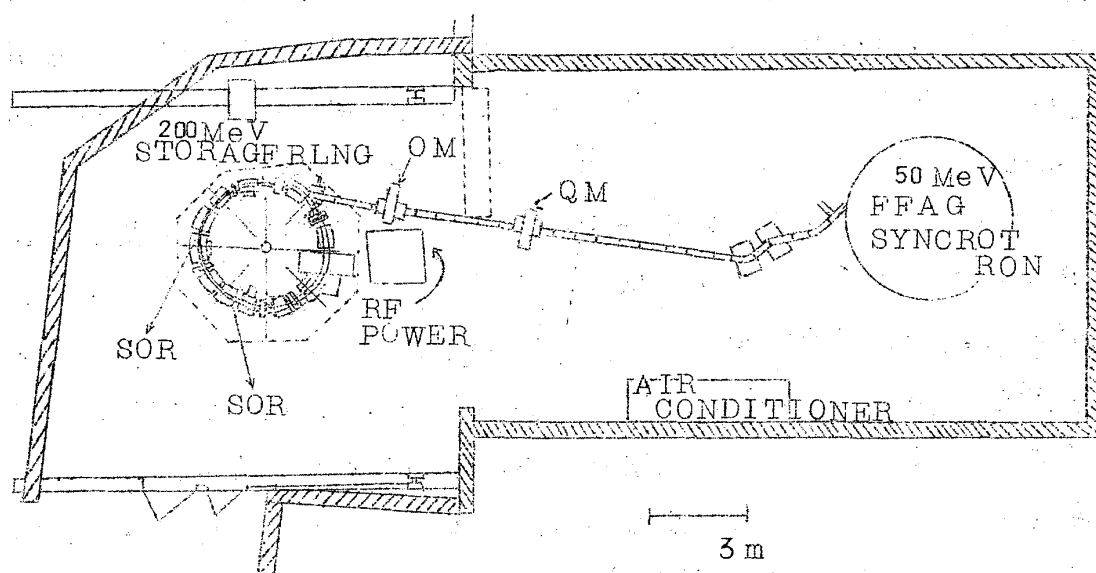
ここでは実際にリングをこの目で見たまま感じたままを順を追って綴って見よう。

§ 2. リングの立地条件

11月15日の早朝、かねてイリノイの藤田さんから紹介のあった、上記 Phys. Sci. Lab. の Dr. Pruett 氏に電話をしてマヂソン町のホテル迄迎えに来ていただいた。この町はシカゴから北、ローカル線の飛行機で約1.5時間の田舎町である。まだ11月と云うのに、ホテルから1歩出ると、肌を刺す寒気が酷しかった。Pruett 氏の車は忽ち郊外に出、50マイルの速度で荒野を南に突走る事約30分、渺茫たる枯とうもろこし畠の彼方、なだらかな丘陵の上の粗末なバラック小屋が目ざすリング棟であった。

研究所に着くとすぐ責任者の Dr. Mills 氏に紹介された。この人はリングに関して絶対的権限を持っており、東大核研で云えば E S 委員会兼山口(省)さんと云った処であるらしい。ここで新たに Dr. Rowe 氏も案内役として加わってくれた。研究所は本棟 (研究室, 金工場, 事務室からなる平家) とそこから数百メートル離れた上記丘陵上のリング棟からなっている。本棟では超伝導マグネットや高分解能電子顕微鏡の研究等、非常に先端的な研究も意欲的に行われていたが、本文の主旨でないので省略する。リングの収容され

ているバラック棟は1階と丘を利用した地階からなり、1階は約 $15 \times 10 \text{ m}^2$ で制御室が主体となっている。その真下に有名なFFAG 50 MeV シンクロトロン⁵⁾があり、これがリングへのインジェクターになっている。従ってリングそのものは正面入口に向って左側に張出した地階に納まっていた。恐らくリング収容のために新しく追加されたものと思われ、その面積は約 $10 \times 10 \text{ m}^2$ 程度のものではあった。地階の広さと各マシンの相対関係を第1図に示した。天井の高さは約4 mで、5 トンのクレーンがx-yに動くようになっていた。



第1図 Wisconsin 大 Storage Ring 棟の平面図 (地階)

地階へは一旦外に出て、丘を小さくまわり込む格好で降りてゆき、至って粗末な1枚扉から入る。この扉を開けた時、内側からかすかな微風を感じたし、扉の開閉を急ぐ様子から、恐らく防塵のため、内圧をわずかに上げて空調をしているのであろう。又、この扉にはインター・ロックがついていたから、運転が始まると、地階へは入れない様であった。この点は改善の意志があるとの事で、リングのまわりを直接シールドする予定の多数の重コンクリート・ブロックも見せてくれた。ブロックは厚さ20~30 cmで60 cm角程度のものである。

扉を開けた瞬間、リングはすぐ眼前にあった。外見のバラックとは非常に

ちぐはぐに思われる程リングは真新しく、文字通り光り輝やっていた。それからはただただ質問の雨とカメラ撮影に専念し、案内役の Rowe, Pruettt 両氏も聊かあきれ顔であつたらしい、同行の教育大中村さんをして「彼は今や記者兼カメラマンだ！」と嘆かせたものである。

§ 3. リングの構造と現状

目前で活動を開始しようとしているリングに関して、この辺で我々は若干の予備智識を持って置く必要がある様に思う。⁴⁾

第一表はリングの諸パラメーターであるが、先づ気が付く事は必ずしも S O R 専用でない点である。所謂シンクロ・クラッシュの予備実験的意味を多分に持っている。それだけに S O R 専用リングにはない難かしさがある様である。又、インジェクターは 50 MeV シンクロトロンなのでリング内に電子ビームを蓄めてから 200 MeV 迄加速するのにかかなり複雑な操作が要求されている。例えばこのインジェクターは毎秒 3 回打込みが出来るが、1 回 0.5 amp. 打込むと、一先づそれを 200 MeV 迄加速してダンプングとバンチングを揃え、再び 50 MeV 迄減速して 2 回目を打込み、 $\frac{1}{3}$ 秒毎に同じ事を繰返す（パルスド・モード）。ある程度ビームが蓄積したら、今度は 200 MeV の直流磁場に切替えてやらねばならない（直流モード）と云う複雑さがある。次にビーム集束の方式は所謂強収斂磁場ではなしに分離方式を採っている。従ってベンディング用磁石（BM）と集束用 4 重極磁石（QM）を交互に配置している。パルスド・モードで使用する事を考え、磁石はラミネート構造である。

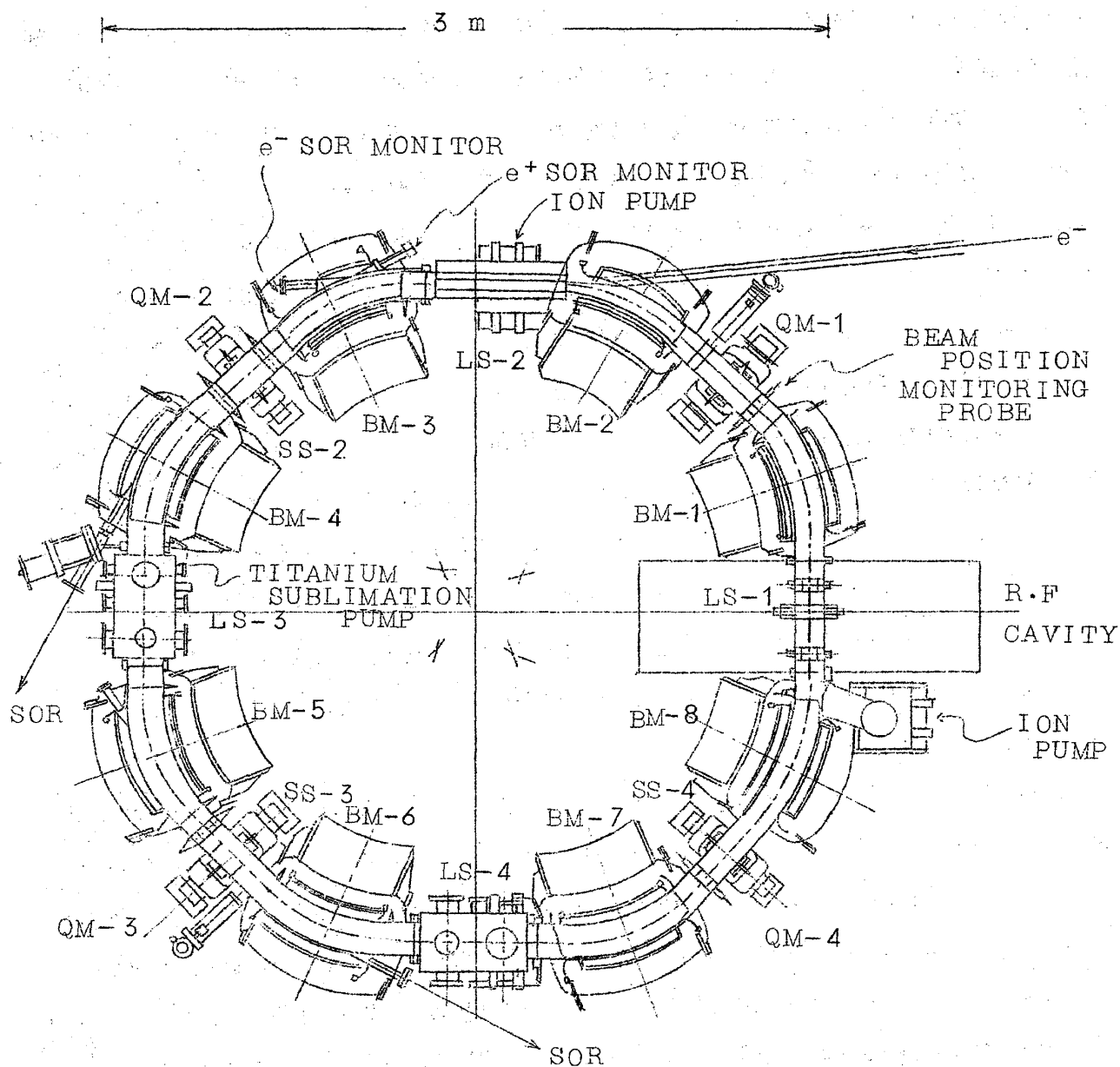
R F キャビティは基本振動数の 31.9 Mc を採用しているので図体はかなり大きい。又、20 kW と云う思いの外、大きな電力供給を必要とする事がわかる。この電力はキャビティと回転ビームとに消費されるが、ビームに対する消費量は 1 amp. 当り 750 Watts 必要であるとの事であつた。今の処 1 kW の電力しかないが、間もなく 30 kW のものと交換すると云っていたから、10 amp. 級の蓄積を目ざしている事は明らかである。

第 2 図はリング設計図のあらましである。8 個のベンディング部分と 8 個の直線部分からなっており、ベンディング部分の曲率半径は 63.5 cm, 直線

部の長さは長短 2 種あって、長い方 (LS) が 22' 長、4 個、短い方 (SS) が 18' 長 4 個である。その為リングの実効直径は 3 m になっている。SS 部には集束用 QM, 動径及び垂直各方向のビーム位置モニター用プローブ更にビーム・リミターが 1 個宛配置されており、LS 部は RF 用 1 個と e^- の打込み用 1 個及び他の 2 個の真空槽である。ドーナツ断面は長径 (水平) 10 cm, 短径 (垂直) 5 cm の楕円形で内壁をエレクトロ・ポーリッシュしたステンレス・スチール製である。パルスド・モードの場合、渦電流によるドーナツの過熱を防ぐ為ベンディング部分の内外径に沿って水冷管が溶接してある。

第 3 図は e^- 打込み部分の詳細である。インフレクターは、 e^+ をもまわさねばならぬ為、動径方向 2.5 cm, 垂直方向 2 cm の開口を強いられ、しかもその背後に他の打込み装置を全く置くことが許されず、セプタムなしにせざるを得ない。この辺にかなりの技術的困難が残っている様であった。ベンディング部分に見られるクリアリング電極はイオンビームを除くとか、 e^+ と e^- のビームを垂直方向に分離しておく等の役目を荷っている。インジェクターからの e^- 引き出し及びリングへの打込み効率と共に 90% との事で彼等の自慢の 1 つであった。

排気系はドーナツ内容積約 40 ℓ に対して、排気速度 100 ℓ /秒のイオンポンプ 5 個、及び H_2 に対する排気速度 1.000 ℓ /秒のタイタニウム・サブリメーション・ポンプ 5 個からなっていた。(4 個の LS 部に各 1 個宛と、インジェクション管部に 1 個宛ついたと記憶する)。インジェクター (50 MeV シンクロトロン (10^{-7} Torr)) とリングの真空 (10^{-9} Torr) 分離はチタン薄膜の隔壁で行われ、50 MeV 程度以上の e^- に対しては何等障害にならないと云う事であった。リングの超高真空はビーム寿命を左右する 1 つの鍵であるが、それでも 10^{-9} Torr もあれば充分らしい。それにしてもかなり細心の配慮が必要な事は云う迄もない。このリングでは RF ギャップを利用して、3 ボルト、250 smp. の交流をじかにドーナツに流して焼き出しを行なっている。4 時間程度焼出しただけで 7.5×10^{-10} Torr が得られていると云うから、もっとしっかり焼出せば 10^{-10} Torr には行くであろう。ちょっと面白いのは、ドーナツは動かさず、その儘の位置で焼出している事で、その間 RF, QM は 4 分割出して取除いておくし、BM (ベ



第2図 Wisconsin 大 Storage Ring の構造 (平面図)

LS: LONG STRAIGHT SECTION
 SS: SHORT
 BM: BENDING MAGNET
 QM: QUADRUPOLE MAGNET

第1表 ウィスコンシン大学 200 MeV
ストレージ・リングの諸パラメーター⁴⁾

磁 石 系

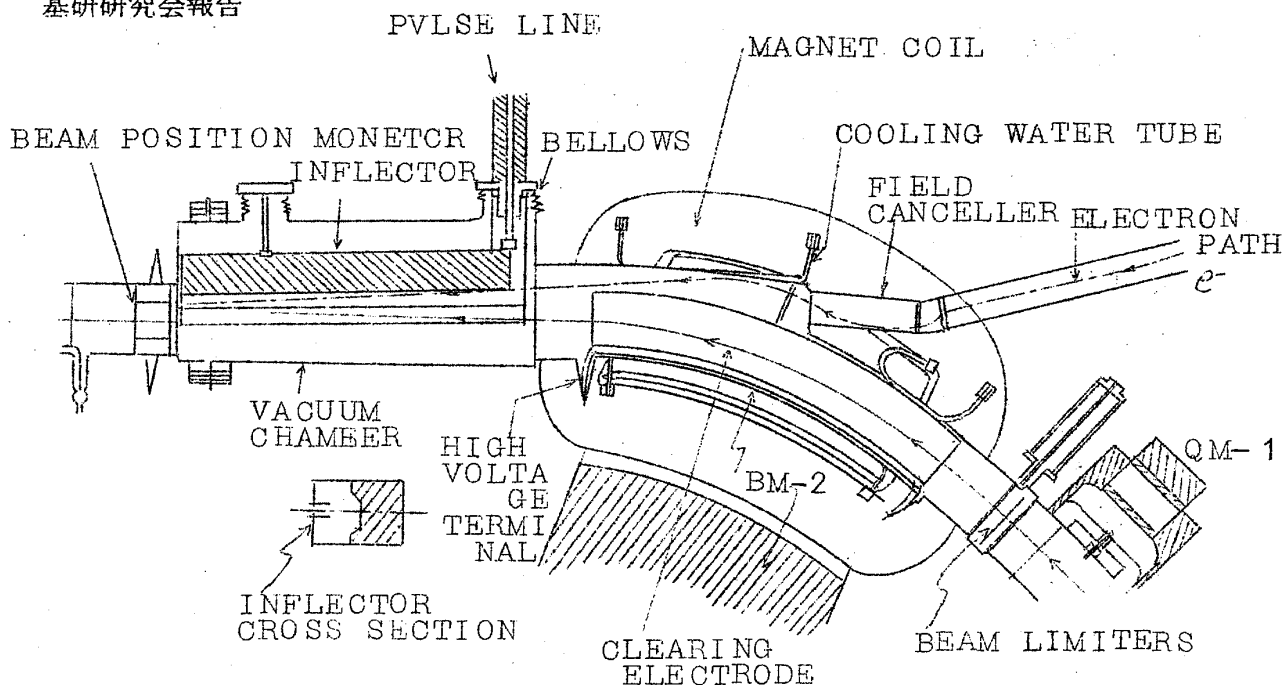
集束方式	AG, 分離方式
集束順序	0/2, D, B, D, f, D, B, D, 0/2
ベンディング磁場指数	可変, $-0.34 \leq n \leq 0.34$
QM内の磁場勾配	可変, 最大 1.6 kG cm^{-1}
e^- 打込み時の磁場	2.36 kG
最大エネルギー時の磁場	12.3 kG
ベンディング半径	0.635 meters
実効平均半径	1.5 meters
チューン	可変, $0.5 < \nu_x, \nu_y < 2.0$

打 込 み 系

インジェクター	50 MeV FFAG 電子シンクロトロン ⁵⁾
打込みエネルギー $\begin{cases} e^- \\ e^+ \end{cases}$	$\begin{cases} 45 \text{ MeV} \\ 40 \text{ MeV} \end{cases}$
打込み電流 (パルス当り) $\begin{cases} e^- \\ e^+ \end{cases}$	$\begin{cases} 0.5 \text{ amperes} \\ 25 \mu \text{ amperes} \end{cases}$
打込みエネルギーのばらつき (全部で) $\begin{cases} e^- \\ e^+ \end{cases}$	$\begin{cases} 500 \text{ keV} \\ 2 \text{ MeV} \end{cases}$
インフレクター	デイレ・ライン, セプタムなし

R F 系

周波数	31.9 Mc
高調波数	1
空洞数	1
1回転当りの最大電圧	50 kV
空洞, ビームへの最大供給電力	20 kW



第3図 電子打込み直線部 (LS-2) の詳細

ンディング用磁石) は8つともリング中心に向って集めてしまう。焼出後、これ等諸要素の位置の再現は、リング中央の頑丈な台上に据えられたトランシットで行なうらしかった。従って各要素は夫々微調が出来る様になっていた。焼出し中はドーナツに熱絶縁毛布をまきつけ、内部の温度勾配を最小にしてやるとの事であった。勿論ポンプ自身はあらかじめ焼出しておく。

励磁電源としては、このリングがパルスド・モードと直流モードの両者を併用するので、1対の250V, 400 smp. アンプリダイン・チェネレータを用いている。前者では60~280 amp. の上下を $\frac{1}{3}$ 秒内に行わねばならないし、後者では60~400 amp. の任意電流値で0.01%以下の電流安定度が要求されている。これ等に就いては彼等の得意とする処であろう。

さて、かんじんのSOR用ダクトは e^- 用として3箇所、 e^+ 用として2箇所迄数える事が出来た。ただし e^+ 用及び e^- 用の1個はサファイア窓を取付け、ビーム・モニター用に供せられ。結局SOR利用グループには e^- 用の2箇所が提供される。第1, 2図にSORの矢印して示したのが、それである。第2図BM-4についたSOR用ダクトには 45° で開閉するゲート・バルブがついていた。これが意外にも手動バルブであった。リング側と附

帯装置側の何れかに真空上のトラブルが起きたら、結局インターロックを付けた処で仕様がないう事なのであろうか。それだけ附帯装置側に要求される真空の条件はミスを許さない酷しいものとなるであろう。又、ダクトは高々1程度の細いものであった。ダクト管壁からの乱反射に対してトラブルが起らないかと懸念されたが、その点は予め測量を精度良くやるからと絶対の自信を持っていた。この辺は我々の核研の様な犬型マシンとの相異であろうし、測量精度等に我々も反省すべき点がある様に思われた。ついでながら、これはアメリカのどこでも感じた事だが、実験室は云うに及ばず、金工場に至る迄、非常に清潔な事で、そのくせ掃除婦の姿をついぞ見かけなかったが、これは一体どういう事なのであろうか。それにつけても我々の核研現場は余りにほこりっぽすぎるのではないだろうか。

さて私達が訪ねた時点ではリングはまだ本運転に入っていなかった。しかし明日つまり11月16日にはムービを流し始めるとの事であった。尤もこれにはおまけがあって、後で訪ねた幾つかの大学でも、このリングは大きな関心事らしく、「もうビームは流しているか？」と云う質問を屢々受けた。

「何でも私の訪ねた翌日から流すと云ってましたよ」と答えると、きまって肩をすくめ、ニヤッと笑ってから「やっぱりそうか、あの連中はいつも明日からだと云って、仕様がないう」と云う処を見ると16日運転開始も余り当てになる話しではなさそうである。実際インフレクターの処で放電が起って手を焼いている様子だったから、そんなに早急には無理だとしても、その他に運転開始を遅らせる客観的状况は何も感じられなかった。恐らく今頃はどんどんビームを流していることであろう。

リング内ビームの寸法は始めは $1 \times 1 \text{ mm}^2$ だが、ダンピング後は縦方向にわづかに 10μ 、横方向に 1 mm だとの事であった。この寸法はビーム寿命とも重要な関聯があるので、想像される寿命について何人かの人に聞いて見た。しかしこの点に就いては悲観論と楽観論の間に大巾なギャップがある事しかわからなかった。例えば Dr. Rowe は最も悲観的で 50 mA ならば $7.5 \times 10^{-10} \text{ Torr}$ の真空で優に30時間はもつが、 1 amp. 蓄めれば恐らく2~3分程度ではないかと云うし、Dr. Pruett は 10 amp. を長時間蓄めて見せると、事もなげな調子である。この点イリノイ大学の Brown 先生は

楽観的であった。この辺の黒白も今頃はついているかも知れない。ともあれ縦方向に 10μ の寸法は驚異的である。これが実現すると SOR 平行性を利用した、入射スリットのない明るい分光系が、分解能のぎせいなしに充分実用出来るし、SOR の偏光性もフルに活用出来る事になって色々と面白い研究テーマが考えられる。しかしこの辺の処は実際の運転状況を観察してから物を云った方が良さそうである。

§ 4. リングの建設費用

このリングの建設費用に就いては、かねがね非常に安価に出来たと云う風評があった。しかし実際には 1.5 ミリオン・ドルを要したと私の手帳に書き込んでくれた。これはインジェクターは勿論、研究実験用の装置は一切含まれていないとも明言した。邦貨にして実に 5.5 億円に匹敵する金額である。因みにこのリングは SOR 用ダクトの最初のゲート・バルブ迄は共同利用であるが、その先の一切の装置が各実験グループの自前になっている。この点我々が核研 SX で採っている方式とかなり違っており、矢張り金持ち国は違うなあーと云う印象であった。ともあれこの金額は私にとって予想外に高価なものに思えた。その故であろうか Dr. Rowe は弱収斂方式で良ければその $\frac{1}{3}$ で出来ますよと付け足してくれた。恐らく SOR 用の単能リングにすればずっと安価になるであろうし、始めから 200 ~ 300 MeV の加速器をインジェクターとすれば更に安価になり、しかも操作の容易なものになる事は明白である。しかしたとえ、そうであっても建物や附帯設備迄考慮したら 2.5 ~ 3 億円程度は覚悟すべきではないだろうか。

§ 5. リング見学後記

約 2 時間に及ぶリング見学後、我々は遅い昼食を共にして研究棟にもどった。すると、物理教室の Dexter 先生（有名な同名の先生のお兄さん）が日本の INS-SOR の話しを聞いたがっているから是非話しをせよとの事であった。私にとっては寝耳に水であったが、ありあわせのスライドを利用しながら 1 時間近い散漫な講演をせざるを得なかった。マチソン町にあるウィスコンシン大学のキャンパスからわざわざ車でかけつけた、この老先生が私の

聊かまとまらない話に熱心に耳を傾け、実に真面目にメモを取っておられる熱意には打たれる思いであった。もっともこの種の熱意は Dexter 先生に限ったわけではない。もともとハワイからの旅費を心配して下さったイリノイ大学の Brown 先生や藤田さんはもとよりのこと、後で訪れたスタンフォード大学の Spicer 教授ですら、彼自身忙がしくて SOR 迄手が廻らないが、自分の講義の中に SOR 分光学を盛込む積りだと、非常に積極的であった。この様な大家達が、これ程の熱意を持ったからこそ、これ程速く、立派なリングの建設を可能ならしめたのであろう。講演後の討論では実に様々な事が話題になったが、その多くは本文の主旨と余り関係がないので省略する。ただ我々 INS-SOR の計画にある 2 種類の曲率を持った 1 つのリングや、SOR ダクトの妨げにならぬよう、下から電子を打込む案等は大いに興味を持たれ、マシン屋として技術的に何等問題がないと受け合ってくれた事等も含まれていた。

討論が一段落して我に返ったのは、もう夕方 5 時頃であったろうか、再び Dr. Pruett 氏の車で薄やみに包まれ始めた湖の散在する荒野を突走り、マデソン空港に着いた時は日もすっかり暮れていた。道々ともすれば黙し勝ちになりながら、思いを日本の現状にはせざるを得なかった事を今でも鮮明に記憶している。アメリカ式プラグマティズムを随所に感じさせる、リング建設と運営、そしてその開拓者魂、果して我々はどうしたら、これに負けずにやっていけるのであろうか。今すぐ着手しても日本のリングは 2, 3 年先になるであろうし、かと云って核研 S_x 現場は改善されてはいるものの、まだまだ十分に整備されてはいない。あれ程世界に先駆けながらみすみすおくれをとる事のくやしき等、文字通り万感の去来する思いであった。

帰国してから旬日を経た頃、受取ったドイツ DESY の佐々木さんの手紙は、しばらく低迷していたと思われた DESY でさえ、かなり思い切った投資の成果が次々に稔り始めている事を告げていた。筆者はこの分野に於ける日本の現状に「結局こうなるのはわかっていたんだ」と嘆息せざるを得なかったが、それでは余りに感傷的すぎるであらうか。とにかく 1 日も早くリング建設に着手する事、それと併行して核研現場を思い切って整備すべき事を再び声を大にして云いたい。

文 献

- 1) E.M.Rowe, H.K.Meier and J.E.O'Meara: Design of a 200 MeV Electron-Positron Storage Ring, Proceeding of International Conference on High Energy Accelerators, Frascati (1965)
- 2) F.C.Brown, P.L.Hartman, P.G.Kruger, B.Lax, R.A.Smith, and G.H.Vineyard: Synchrotron Radiation as a Source for the Spectroscopy of Solids, A Solid State Panel Subcommittee Report, 6 March (1966)
- 3) 藤田 秀: シンクロトロン軌道放射 — 1967年6月初旬に於ける
ウイスコンシン・ストレージ・リング関係の現状と問題点 — 物性 8
16.10 (1967) 611~617
- 4) E.M.Rowe, J.W.Hicks, R.G.Johnson, G.M.Lee, H.K.Meier, and J.E.O'Mera: Status of the MURA 200 MeV Electron-Positron Storage Ring, Proceeding of International Symposium on Electron-Positron Storage Rings, Saclay, September, 26-30, (1966)
- 5) The MURA Staffs, Rev. Sci. Instrum. 35 (1964) 1393~1482